

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian Tugas akhir ini didapat dari studi literatur yang didapat bersumber dari penelitian terdahulu tentang pemanfaatan energi surya sebagai sumber listrik yang telah dilakukan oleh beberapa pihak.

HS (2016) yang berjudul *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Rooftop Grid-Connected pada Gedung Pemerintah (Studi Kasus: Gedung Kantor Gabungan Dinas Provinsi Riau)* yang menghasilkan kapasitas sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *rooftop grid-connected* pada Kantor Gabungan Dinas Provinsi Riau dengan luas area sebesar 2840 m². Potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS (PLTS) *rooftop grid-connected* pada penelitian ini menghasilkan daya sebesar 288,420 kWp atau 405,9 MWh per tahun. Analisa ekonomi dengan metode *Life Cycle Cost* (LCC) dengan tingkat suku bunga 8%, menghasilkan total pengeluaran sebesar Rp. 6.941.389.894 selama umur proyek 20 tahun. Dengan rincian investasi awal Rp 5.931.170.000, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M) sebesar Rp 59.311.700 dan biaya penggantian (*Replacement*) sebesar Rp. 923.780.000. hasil penelitian menunjukkan proyek pembangkit listrik (PLTS) *rooftop grid-connected* pada gedung Kantor Dinas Gabungan Provinsi Riau layak untuk dibangun.

Hassan, dkk (2015). *Design And Implemet Of 100 kW Rooftop Grid Connected PV System*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan pembangkit listrik tenaga surya 100 kW di atap gedung Fakultas Teknik Universitas Minia di Mesir yang memiliki 3 gedung dengan total luas atap 1100 m². Perancangan PLTS kapasitas 100 kW *grid-connected* layak untuk dibangun dengan menghasilkan Permintaan beban total fakultas adalah 160,432 kW namun beban ini tidak bekerja semua pada satu waktu, sebaliknya bekerja untuk waktu yang singkat. Dengan asumsi beban permintaan 60% dari total permintaan beban, sehingga kapasitas P = 100 kW atap jaringan layak untuk dibangun secara teknis. Menghasilkan produksi energi tahunan diperkirakan 208,83 MWh dan juga dapat diestimasikan 145.97 t CO/tahun emisi gas rumah kaca yang dapat dihindari.

Tarigan, dkk (2015). *Techno-Economic Simulation of a Grid-Connected PV System Design as Specifically Applied to Residentialin Surabaya, Indonesia*. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi aspek teknis, ekonomi dan Lingkungan dari sistem PV untuk memasok dari kebutuhan energi listrik rumah tangga. 1 kWp *grid-connected*

disimulasi dengan *software PVsyt* dan *RETScreen*. Rata-rata radiasi global harian tersedia di Surabaya adalah 5.17 kWh/m²/day, atau sekitar 1887 kWh m²/yr. Tingkat *insolation* tertinggi tercatat pada nilai 1005 W/m². Berdasarkan potensi energi surya ini, 1 kWp *grid-connected* sistem PV bisa mengirim listrik ke *grid* sekitar sekitar 1,3 MWh/yr rata-rata. Keuntungan investasi ini didapatkan setelah 17,6 tahun. Sistem PV *grid-connected* tidak layak secara finansial untuk memenuhi kebutuhan listrik perumahan di Surabaya. Sementara, dengan menerapkan *feed-intarif* di USD 0,25/(kWh) jangka waktu pengembalian modal akan sekitar 6,5 tahun. Tingkat pengurangan gas rumah kaca (GRK) dengan menerapkan sistem 1 kWp PLTS diperkirakan sekitar 1,66 kg SO₂; 3.46 kg NO_x; 1 295 kg CO₂; dan 91 kg abu per tahun.

Albadi, dkk (2014) berjudul *Design of 50 kW Solar Rooftop System*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang pembangkit listrik tenaga surya di atap gedung (*Rooftop*) perusahaan MJEC yang memiliki luas total 600 m². Perancangan PLTS kapasitas 50 kW menggunakan modul kapasitas 250 W dan diperlukan sebanyak 200 modul. Perancangan sistem tenaga surya 50 kW dengan umur 25 tahun disimulasikan dengan *software RETScreen*. Hasil simulasi menunjukkan biaya investasi sistem ini sebesar OMR 48.382. Arus kas komulatif sistem ini sebesar 0.065 OMR/kWh. Berdasarkan pengurangan gas rumah kaca bersih tahunan yang sekitar 74 tCO₂ / tahun dan mengakibatkan pendapatan pengurangan gas rumah kaca tahunan sekitar 567 OMR. Sementara, pengurangan GHG lebih dari 25 tahun dihasilkan 1.842 tCO₂.

Syah, (2014) berjudul *Studi Kelayakan Penggunaan Atap Sel Surya sebagai Sumber Energi Listrik di Stasiun Kereta Api Jember*. Penelitian ini dilakukan untuk merancang sistem PLTS menggunakan baterai dan tanpa baterai dengan membandingkan pola menjual listrik hasil produksi PLTS dengan tidak menjual hasil produksi listrik PLTS. Diketahui bahwa sistem PLTS tanpa baterai dengan pola menjual didominasi oleh sel surya yang terpasang pada atap stasiun kereta api Jember. Produksi dari sel surya dikeluarkan sebesar 96.963 kwh/yr atau sebesar 60 %, dan pembelian energi dari PLN sebesar 65.595 kwh/yr atau sebesar 40%. Sistem dengan komponen *photovoltaic*, *grid*, dan *converter* dengan sistem *grid sales* lebih menguntungkan karena BEP bisa terjadi dalam jangka waktu proyek. BEP terjadi pada tahun ke-15, sehingga pengembalian biaya investasi dan lainnya bisa tercapai sebelum jangka waktu proyek habis.

Kumi, dkk (2013) yang berjudul *Design and Analysis of a 1 MW Grid-Connected Solar PV System in Ghana*. PLTS terinterkoneksi jaringan skala besar yang akan

diaplikasikan pada atap bangunan dan sentral parkir. Standar prosedur yang dikembangkan ini telah divalidasi untuk PLTS *Kwame Nkrumah University of Science and Technology 11* (KNUST), Ghana. Unjuk kerja dan ketahanan dari PLTS ini juga sudah disimulasikan menggunakan program *RETScreen Clean Energy Project Analysis Software*. Analisa awal dari hasil simulasi menunjukkan bahwa proyek ini bermanfaat bagi Universitas dengan estimasi produksi tahunannya sekitar 1.159 MWh, yaitu sekitar 12 % dari konsumsi listrik tahunan. Penelitian ini mengurangi pencemaran 792 tonCO₂. Hasil dari aspek teknis menyatakan PLTS ini menghasilkan *performance ratio* sebesar 74,3 % dengan *Capacity Factor* 13,2 %.

Berdasarkan penelitian terdahulu terdapat beberapa metode yang digunakan dalam menganalisa perancangan PLTS dari aspek teknis dan aspek ekonomi, seperti metode LCC dan penggunaan *software RETScreen*. Namun pada penelitian ini penulis menggabungkan beberapa metode dari penelitian sebelumnya yaitu melakukan perancangan PLTS ini dengan cara identifikasi profil beban dan *layout* atap Gedung Perpustakaan Wilayah Soeman HS, kemudian dibuat perancangan sistem yang ideal dengan mengkonfigurasi spesifikasi peralatan dan luas atap yang tersedia kemudian melakukan analisa perancangan yang meliputi analisa teknis yang membahas *losses* sistem, hasil produksi energi, rasio performa dan faktor kapasitas sistem PLTS. Setelah itu dilakukan analisa ekonomi dengan menggunakan metode *Life Cycle Cost* (LCC), *Cash Flow* (CF) dan *Coefisient of Energy* (COE). Kemudian Analisa finansial yang disimulasikan dengan *software RETScreen* untuk mengetahui aspek finansial seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Simple Payback* (SP). Dan juga analisa emisi gas rumah kaca berupa CO₂ yang dapat dihindari dengan adanya sistem pembangkit yang disimulaikan dengan *software RETScreen*.

Penelitian dari HS hampir memiliki kesamaan dengan penelitian ini, akan tetapi penelitian HS hanya menghitung kapasitas PLTS yang dirancang sebagai investasi dengan menjual hasil produksi listrik dari PLTS *Rooftop* ke PLN. Sementara itu keunggulan penelitian ini dari penelitian sebelumnya adalah untuk menganalisa hasil perancangan dari aspek teknis, aspek ekonomi dilakukan analisa biaya dengan menghitung nilai *Cost Of Energy* (COE) dari sistem PLTS yang dibandingkan dengan nilai COE dari genset dan aspek emisi. Penelitian ini juga menghasilkan *layout* hasil perancangan berupa gambar teknik hasil perancangan dan diagram kelistrikan sistem PLTS.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sel Surya (*Photovoltaic*)

Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik dapat dilakukan dengan sel surya atau *solar cell*. Apabila permukaan sel surya dikenai cahaya maka dihasilkan pasangan elektron dan *hole*. Elektron akan meninggalkan sel surya dan akan mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan oleh sel surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai untuk digunakan kemudian (Messenger & Vetre, 2005)

Besarnya pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan, atau besarnya arus yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya maupun panjang gelombang cahaya yang jatuh pada sel surya. Intensitas cahaya menentukan jumlah foton, makin besar intensitas cahaya yang mengenai permukaan sel surya makin besar pula foton yang dimiliki sehingga makin banyak pasangan elektron dan *hole* yang dihasilkan yang akan mengakibatkan besarnya arus yang mengalir. Semakin pendek panjang gelombang cahaya maka semakin tinggi energi fotonnya sehingga makin besar energi elektron yang dihasilkan, dan juga berimplikasi pada makin besarnya arus yang mengalir. Prinsip kerja sel surya adalah sebagai berikut: Cahaya yang jatuh pada sel surya menghasilkan elektron yang bermuatan positif dan *hole* yang bermuatan negatif kemudian elektron dan *hole* mengalir membentuk arus listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *photoelectric*. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif: lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p). Karena sel surya ini mudah pecah dan berkarat sehingga sel ini dibuat dalam bentuk modul-modul dengan ukuran tertentu yang dilapisi plastik atau kaca bening yang kedap air yang dikenal dengan modul surya (Messenger & Vetre, 2005).

2.2.2 Karakteristik *Photovoltaic*

Penyinaran cahaya matahari yang diterima sel surya sangat bervariasi setiap harinya. Untuk mengetahui kapasitas daya yang dihasilkan, dilakukan pengukuran terhadap arus (I) dan tegangan (V) pada susunan sel surya. Untuk mengukur arus maksimum, kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum. Dengan menggunakan *ampermeter* akan didapatkan sebuah arus maksimum yang dinamakan *short circuit current* atau I_{sc} . Pengukuran terhadap tegangan (V) dilakukan pada terminal positif dan negatif dari modul dengan tidak menghubungkan sel surya dengan komponen lainnya. Pengukuran ini dinamakan *open circuit voltage* atau

Voc. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya puncak *Maximum Power Point* (MPP) yang dapat dicapai. Secara sederhana, karakteristik dari sel surya ini diterangkan lewat kurva arus terhadap tegangan (Kurva I-V). Pada kurva I-V terdapat hal-hal yang sangat penting yaitu (Messenger & Vetre, 2005).

2.2.2.1 Arus *Short Circuit* (*Isc*)

Arus hubung singkat sel surya adalah arus yang mengalir pada saat tegangan sel surya sama dengan nol atau arus keluaran maksimum modul surya yang dikeluarkan di bawah kondisi tidak ada resistansi.

2.2.2.2 Tegangan Rangkaian Terbuka (*Voc*)

Voc adalah tegangan maksimum dari sel surya dan terjadi pada saat arus sel sama dengan nol. Tegangan rangkaian terbuka sesuai dengan jumlah bias maju pada sel surya, karena bias *junction* sel surya sama dengan arus cahaya yang dihasilkan.

2.2.2.3 Faktor Pengisian (*Fill Factor*)

Fill factor adalah salah satu besaran yang menjadi parameter unjuk kerja sel surya. *Fill factor* (FF) merupakan besaran tak berdimensi yang menyatakan perbandingan daya maksimum yang dihasilkan sel surya terhadap perkalian antara *Voc* dan *Isc*.

2.2.2.4 Efisiensi Sel Surya

Efisiensi adalah parameter yang paling umum digunakan untuk membandingkan unjuk kerja dari sel surya satu dengan yang lainnya. Efisiensi didefinisikan sebagai rasio output energi dari sel surya untuk energi masukan dari matahari. Selain mencerminkan unjuk kerja sel surya sendiri, efisiensi tergantung pada spektrum, intensitas sinar matahari, dan suhu sel surya. Oleh karena itu, kondisi dimana efisiensi diukur harus dikontrol untuk membandingkan kinerja satu perangkat ke perangkat lainnya. Sel surya terestrial diukur dalam kondisi *Air Mass* (AM) 1.5 spektrum dan pada suhu 25°C.

2.2.2.5 Maksimum Power Point (MPP)

Maximum power point (MPP) pada kurva I-V adalah titik operasi yang menunjukkan daya maksimum yang dihasilkan oleh sel surya. Hasil perkalian arus dan tegangan maksimum menyatakan Radiasi matahari yang diterima bumi terdistribusi pada beberapa panjang gelombang, mulai dari 300 nm sampai dengan 4 micron(m). Sebagian radiasi mengalami refleksi di atmosfer (*diffuse radiation*) dan sisanya dapat sampai ke permukaan bumi (*direct radiation*).

2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada modul surya yang terdiri dari sel-sel *photovoltaik*. Sel-sel ini merupakan lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni dan bahan semi konduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron dari ikatan atomnya menjadi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. Dengan hubungan seri-paralel, sel fotovoltaiik dapat digabungkan menjadi modul dengan jumlah sekitar 40 sel, selanjutnya gabungan beberapa modul akan membentuk suatu PV array .

PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*direct current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating current*). PLTS pada dasarnya adalah pecatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil sampai dengan besar, baik secara mandiri maupun secara hibrid (DGS, 2008)

2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Kinerja PLTS

Sistem PLTS dipengaruhi oleh beberapa faktor utama yang mempengaruhi kinerja PLTS, faktor utama yang mempengaruhi kinerja PLTS adalah radiasi dan temperatur (GSES, 2013).

2.4.1 Radiasi

Radiasi mempengaruhi variasi arus dan tegangan. Terdapat hubungan antara variasi pada radiasi dan variasi pada hubungan arus. Tegangan pada rangkaian terbuka tidak berubah secara drastis terhadap radiasi. Namun, bagaimanapun tetap terjadi sedikit peningkatan pada saat kenaikan radiasi. Semakin tinggi radiasi maka, semakin besar pula arus dan tegangan yang dihasilkan. Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah radiasi yang sampai pada modul adalah terjadinya bayangan-bayangan yang dapat menghalangi radiasi sampai kepada modul surya seperti bayangan pohon, bayangan awan, bayangan bangunan dan lain-lain.

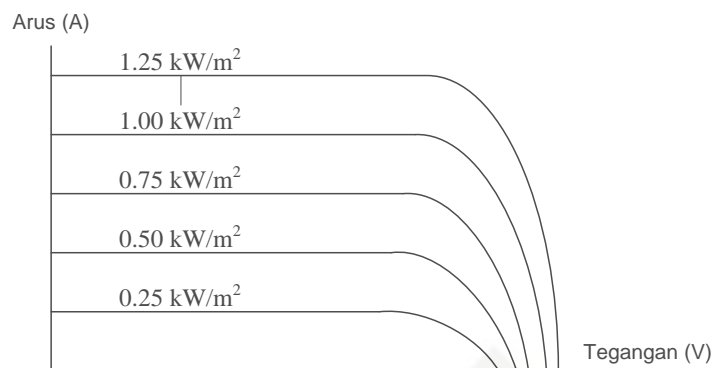
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.1 Karakteristik variasi tegangan terhadap radiasi
(Sumber: GSES, 2013)

2.4.2 Sudut Kemiringan Modul Surya

Sudut kemiringan memiliki dampak yang besar terhadap radiasi matahari dipermukaan modul surya. Untuk sudut kemiringan tetap, daya maksimum selama satu tahun akan diperoleh ketika sudut kemiringan modul surya sama dengan lintang lokasi. Sistem pengaturan berfungsi memberikan pengaturan dan pengamanan dalam suatu PLTS sedemikian rupa sehingga sistem pembangkit tersebut dapat bekerja secara efisien dan handal. Peralatan pengaturan di dalam sistem PLTS ini dapat dibuat secara manual, yaitu dengan cara selalu menempatkan kearah matahari, atau dapat juga dibuat secara otomatis, mengingat sistem ini banyak dipergunakan untuk daerah terpencil. Otomatis ini dapat dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronik. Namun dalam segi kepraktisan dan memudahkan perawatan pemasangan modul surya yang mudah dan murah adalah dengan memasang modul surya dengan posisi tetap dengan sudut kemiringan tertentu. Untuk menentukan arah sudut kemiringan modul surya harus disesuaikan dengan letak geografis lokasi pemasangan modul surya tersebut. Penentuan sudut pemasangan modul surya ini berguna untuk membenarkan penghadapan modul surya ke arah garis khatulistiwa. Pemasangan modul surya ke arah khatulistiwa dimaksudkan agar modul surya mendapatkan penyinaran yang optimal. modul surya yang terpasang di khatulistiwa (lintang = 0°) yang diletakan mendatar (*tilt angle* = 0°), akan menghasilkan energi maksimum (Hanif, 2012).

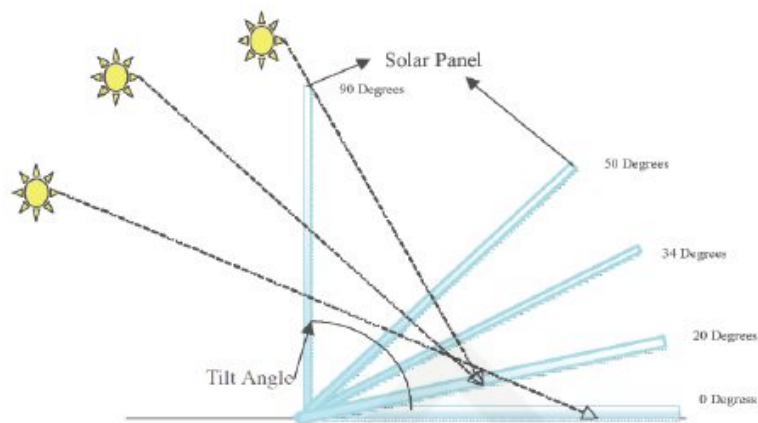
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

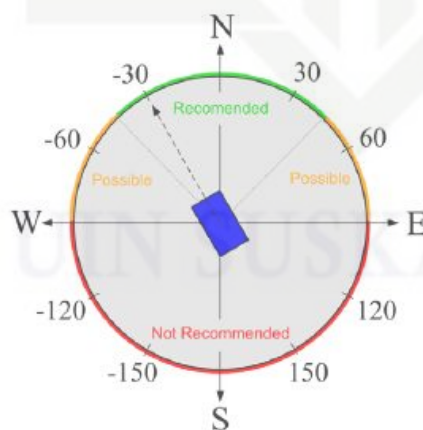
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.2 Sudut kemiringan modul surya.
Sumber: (Hanif, 2012)

2.4.3 Orientasi Modul Surya

Penempatan modul surya untuk mendapatkan energi maksimum, sebaiknya modul surya ditempatkan menghadap arah selatan, meskipun arah timur atau barat juga memungkinkan tetapi jumlah listrik yang dihasilkan akan lebih rendah. Selain itu sudut peletakan modul surya tidak boleh kurang dari 10 derajat atau melebihi 45 derajat. Orientasi dari rangkaian modul surya (*array*) ke arah matahari adalah penting, agar modul surya (*array*) dapat menghasilkan energi yang maksimum. Misalnya, untuk lokasi yang terletak di belahan bumi utara maka modul surya sebaiknya diorientasikan ke selatan. Begitu pula untuk lokasi yang terletak di belahan bumi selatan maka modul surya diorientasikan ke utara (Hanif, 2012).

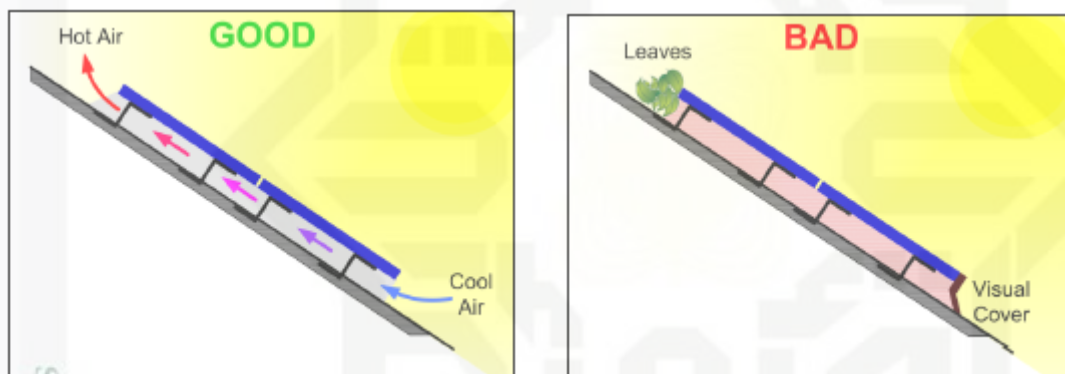


Gambar 2.3 Orientasi modul surya
Sumber : (Power, 2011)

2.4.4 Temperatur

Kinerja sel PLTS dipengaruhi oleh suhu tersebut bahwa semakin tinggi suhu sel, semakin rendah produksi energi. Sel bisa mencapai suhu tinggi, misalnya, ketika radiasi matahari berada pada titik terkuat di musim panas sekitar tengah hari, sel dapat panas hingga sekitar 70°C . Panas yang hilang melalui bagian belakang modul dengan konveksi alami, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4. Untuk alasan ini, penting untuk menghindari pemanasan sel dengan membatasi aliran udara di bawah modul.

Sebagai aturan sederhana, kenaikan suhu sebesar 10°C menurunkan output daya yang efektif dari sistem PV sekitar 4% - 5%. Pada saat terjadi temperatur yang tinggi, sel-sel surya kurang efisien. Energi output dari modul dipengaruhi oleh temperatur pada sel-sel surya yang beroperasi. Saat panas sel-sel surya meningkat, tegangan yang melintasi setiap sel akan jatuh dan ketika tegangan menurun maka daya juga akan menurun.



Gambar 2.4 Temperature pada panel surya

Sumber : (Power, 2011)

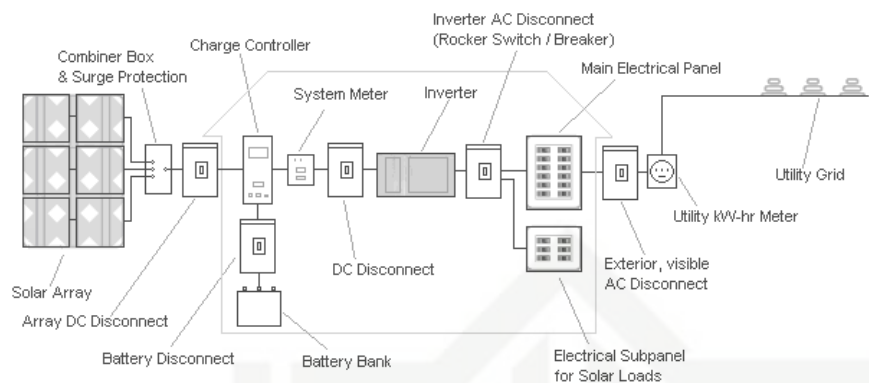
2.5 PLTS Grid-Connected

Sistem PLTS *Grid-Connected* atau dapat disebut PLTS *on-grid* pada dasarnya adalah menggabungkan PLTS dengan jaringan listrik (PLN). Sistem PLTS *Grid-Connected* bertujuan untuk menyediakan listrik yang langsung terhubung dengan jaringan listrik grid PLN. Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu:

2.5.1 Sistem Dengan Penyimpanan (*Grid-Connected PV With A Battery Back Up*)

Sistem PLTS *Grid-Connected* ini dapat menggunakan baterai sebagai cadangan atau *backup* energi. Sistem ini disebut sebagai *grid connected PV system with battery backup*. Sistem ini berfungsi sebagai *backup* energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN

(pemadaman listrik) maka peralatan-peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan.

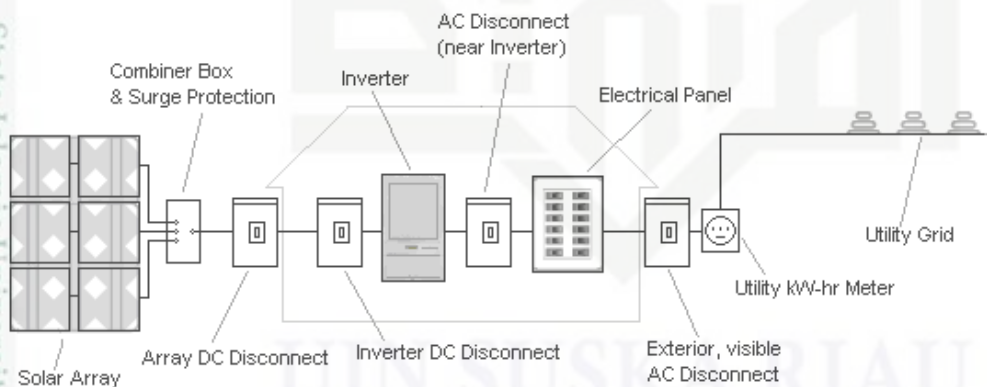


Gambar 2.5 Sistem PLTS *Grid-Connected* dengan Baterai

(Sumber: www.energy.wsu.edu)

2.5.2 Sistem Tanpa Baterai (*Grid-Connected PV Without A Battery Back Up*)

Sistem PLTS ini tidak menggunakan *battery* sebagai backupnya. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, *Grid-connected distributed PV* dan *Grid-connected centralized PV* (Setiawan, 2014).



Gambar 2.6 Sistem PLTS *Grid-Connected* Tanpa Baterai

(Sumber: www.energy.wsu.edu)

2.6 Komponen PLTS *Grid-Connected* Tanpa Baterai

Pada penelitian ini sistem yang akan dirancang adalah sistem PLTS *grid-connected without battery backup*, umumnya terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut :

2.6.1 Modul Surya

Modul surya merupakan komponen PLTS yang tersusun dari beberapa sel surya yang dirangkai sedemikian rupa, baik dirangkai seri maupun paralel dengan maksud dapat menghasilkan daya listrik tertentu dan disusun pada satu bingkai (*frame*) dan dilaminasi atau diberikan lapisan pelindung. Kemudian susunan dari beberapa modul surya yang terpasang sedemikian rupa pada penyangga disebut *array*.

Sebagai sebuah komponen penghasil listrik, modul surya memiliki karakteristik tertentu berdasarkan parameter terukur sebagai berikut (ABB, 2010):

- Peak Power* (W_p), menyatakan daya maksimum yang terjadi pada titik lutut (*knee point*) kurva I-V.
- Peak voltage* (V_{mp}), menyatakan nilai tegangan pada titik lutut kurva I-V.
- Open voltage* (V_{oc}), menyatakan nilai tegangan pada saat terminal positif dan negatif tidak ada beban atau terbuka.
- Peak current* (I_{mp}), menyatakan besarnya arus yang mengalir pada titik lutut kurva I-V.
- Short circuit current* (I_{sc}), menyatakan arus yang mengalir pada saat terminal positif dan negatif dihubungkan singkat.
- Standard Test Conditions* (STC), memberi keterangan bahwa modul surya diuji dengan kondisi test tertentu, seperti: iradiasi = 1000 W/m^2 ; temperatur = 25°C .

2.6.1.1 Jenis Modul Surya

Jenis modul surya secara garis besar terbagi kedalam dua jenis yaitu jenis *Crystalline Cell* dan *Thin Layer Film*, kemudian kedua jenis modul surya ini terbagi lagi menjadi beberapa tipe sel surya pada kedua jenis modul *crystalline* dan *thin layer film* ini berdasarkan tipe sel (DGS, 2008).

1. *Crystalline Cells*

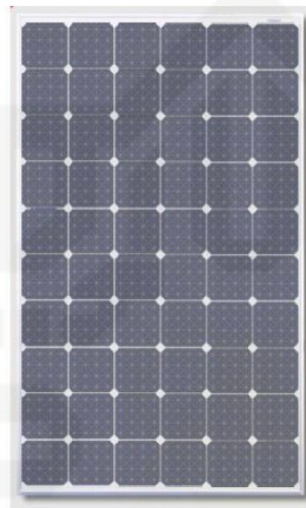
a. *Monocrystalline*

Jenis ini terbuat dari batangan kristal yang diiris tipis – tipis. Karena sel surya berasal dari satu induk batangan kristal, maka setiap potongan memiliki karakteristik yang identik dengan yang lainnya. Sehingga efisiensi *monocrystalline* mampu mencapai 15 – 20 %, oleh karena itu harga *monocrystalline* lebih mahal daripada *Polycrystalline*.

Monocrystalline menyerap panas lebih banyak dari *polycrystalline*, itu artinya suhu permukaan *monocrystalline* akan lebih tinggi dibandingkan dengan *polycrystalline* pada lingkungan yang sama. Semakin tinggi suhu *crystal silicon*, semakin menurun

kemampuannya. Pada suhu tinggi performa *monocrystalline* tidak sebaik *polycrystalline*, artinya akan terjadi penurunan performa yang lebih banyak pada modul *monocrystalline*.

Kelemahan dari sel surya tipe *monocrystalline* adalah potongan dari setiap sel suryanya berupa segi empat atau bulat. Sehingga apabila disusun bersama sel surya yang lainnya akan membentuk ruang kosong. Tentu saja hal ini akan mengurangi kerapatan sel surya yang apabila disusun pada skala besar menimbulkan ruang sisa tidak berguna yang cukup banyak.



Gambar 2.7 *Monocrystalline*

(Sumber: <http://www.renugen.co.uk>)

b. *Polycrystalline*

Jenis ini terbuat dari beberapa batang kristal silikon yang dilebur kemudian dituang dalam cetakan yang umumnya berbentuk persegi. Kemurnian kristal silikon *polycrystalline* tidak setinggi *monocrystalline* sehingga efisiensinya sekitar 13 – 16 %.

Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Akan tetapi dengan potongan yang berbentuk persegi, *polycrystalline* dapat disusun lebih rapat dari pada *monocrystalline*, sehingga mengurangi ruang-ruang kosong antar sel surya. Selain itu *Polycrystalline* mempunyai toleransi terhadap suhu yang rendah. Sehingga dalam performanya *polycrystalline* tidak menyerap panas dan suhu permukaan *polycrystalline* tidak panas dan dapat tetap bekerja secara maksimal.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.8 *Polycrystalline*
(Sumber: <http://webportal-solfex.co.uk/>)

2. *Thin Layer (Film) Cell*

Merupakan modul surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokrystal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan daya yang dihasilkan lebih besar daripada *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Jenis sel surya ini mempunyai kerapatan atom yang rendah, sehingga mudah dibentuk dan dikembangkan ke berbagai macam ukuran dan potongan dan secara umum dapat diproduksi dengan biaya yang lebih murah. Sel surya ini dibuat dengan menambahkan satu atau beberapa lapisan tipis ke dalam lapisan dasar. Sel surya jenis ini sangat tipis sehingga ringan dan fleksibel. Oleh sebab itu sering disebut juga sebagai TFPV (*thin film photovoltaic*).

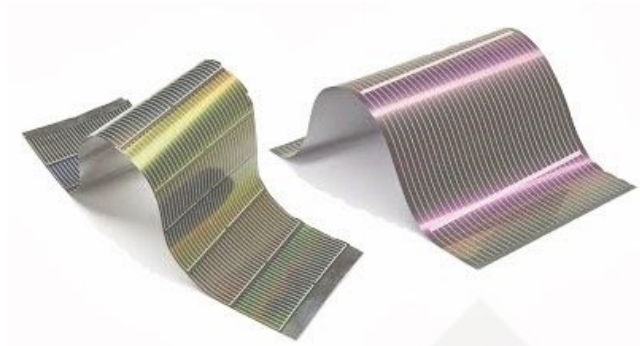
Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction PV* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan dayalistrik sampai 45% lebih tinggi dari modul jenis lain dengan daya yang setara (GSES, 2013). Teknologi produksi sel surya thin film ini masih baru, masih banyak kemungkinan di masa mendatang. Ongkos produksi yang murah serta bentuknya yang tipis, ringan dan fleksibel sehingga dapat dilekatkan pada berbagai bentuk permukaan, seperti kaca, dinding gedung dan genteng rumah.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.9 *Thin Layer (FILM) Cells*
(Sumber: <http://materia.nl>)

2.6.2 Inverter

Inverter adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus AC. Pada PLTS, inverter berfungsi sebagai pengkondisi tenaga listrik (*Power Condition*) dan sistem kontrol yang merubah arus listrik DC yang dihasilkan oleh modul surya menjadi listrik arus bolak-balik (AC), yang kemudian akan mengontrol kualitas daya listrik yang dikeluarkan untuk dikirim ke beban atau jaringan listrik. Terdapat dua macam sistem inverter pada PLTS yaitu inverter fasa untuk *Solar Home System* (SHS) yang bebannya kecil dan inverter 3 fasa untuk sistem PLTS yang besar dan terhubung dengan jaringan PLN (Putra, 2015).

2.6.2.1 Jenis Inverter

Terdapat banyak jenis inverter yang beredar dipasaran. Jenis-jenis ini mempunyai beberapa perbedaan mulai dari yang digunakan untuk *single module* hingga *arrays* dan yang digunakan untuk distribusi dalam kW atau MW. Ada tiga jenis inverter yang sering digunakan yaitu *string*, *central* dan *micro inverter*. Jenis ini dibedakan pada penggunaan jenis kabel yang digunakan:

a. Inverter Mikro (*Micro Inverter*)

Inverter mikro atau juga yang biasa disebut inverter modul dipasang dibagian belakang setiap modul surya. Inverter ini diproduksi di kisaran 100 - 300 W. Keuntungan inverter mikro adalah menggunakan kabel DC yang sedikit karena keluaran dari modular merupakan daya AC yang langsung diparalelkan pada setiap modul dan kemudian disambungkan ke jaringan. Keuntungan lainnya ialah, apabila untuk penambahan daya, hanya dengan menambahkan modul surya dan inverternya saja dan tidak perlu membongkar.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.10 Inverter mikro
(Sumber: [//tandem-solar-systems.com](http://tandem-solar-systems.com))

b. Inverter String (*String Inverter*)

String inverter biasanya digunakan untuk pemasangan jaringan tersambung skala kecil (10 kW atau kurang). Biasanya kapasitas *string inverter* ialah 1 kW sampai kira-kira 12 kW, ketika PLTS berkapasitas di atas 5 kW maka inverter *multi string* atau inverter terpusat dapat digunakan sebagai inverter alternatif. Setiap inverter *on-grid* memiliki fungsi sebagai MPPT dan tegangan DC inputnya bisa mencapai 1000 V DC.



Gambar 2.11 *String* inverter
(Sumber: <http://solarprofessional.com>)

c. Inverter Terpusat (*Central Inverter*)

Inverter terpusat ini biasanya digunakan untuk daya PLTS yang besar, sebagai contoh inverter ini digunakan pada daya dari 30 kWp (fronius) dan dari 100 kWp (SMA). Inverter terpusat ini sama halnya dengan inverter string dan multi-string namun yang membedakan dengan inverter terpusat adalah *array* pada PLTS dapat dibagi menjadi beberapa *Sub-array*.

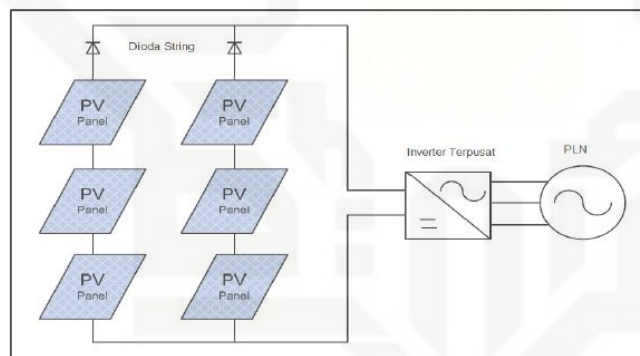


Gambar 2.12 *Central inverter*
(Sumber: <http://solarprofessional.com>)

2.6.2.2 Konfigurasi Inverter

a. Konfigurasi Inverter Terpusat

Konfigurasi Inverter Terpusat yang relatif sederhana dari pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik. Topologi penyambungan pembangkit tipe ini paling murah, karena hanya memiliki satu inverter DC ke AC terpusat untuk string modul fotovoltaik yang dihubungkan secara seri dan paralel untuk menghasilkan tegangan dan arus DC tertentu. Kelemahan lain adalah permasalahan keandalan sistem, dengan adanya gangguan atau kerusakan pada inverter maka akan menyebabkan seluruh pembangkit berhenti beroperasi.



Gambar 2.13 Konfigurasi *Photovoltaic* Inverter Terpusat
(Sumber: PLN, 2014)

b. Konfigurasi *Multi String Inverter*

Multi string inverter menggunakan beberapa string dengan sistem pelacak MPP yang terpisah (menggunakan DC/DC konverter) terhubung ke inverter DC/AC umum untuk menghasilkan AC yang disalurkan ke sistem distribusi. Konfigurasi ini memungkinkan untuk mengoptimalkan efisiensi pengoperasian setiap string secara terpisah, dan integrasi berbagai orientasi surya untuk memaksimalkan produksi energi.

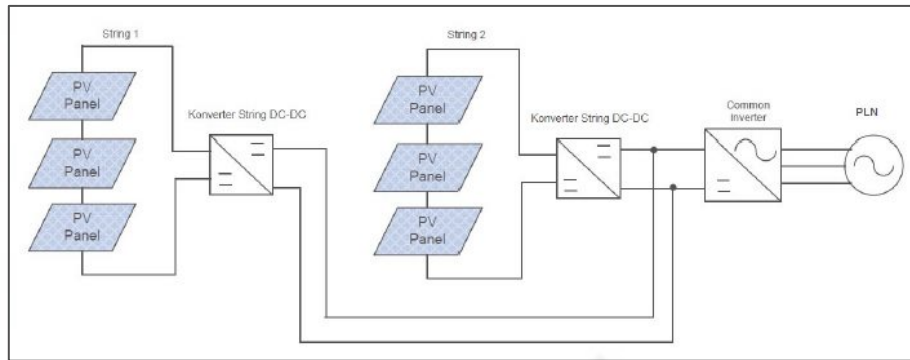
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

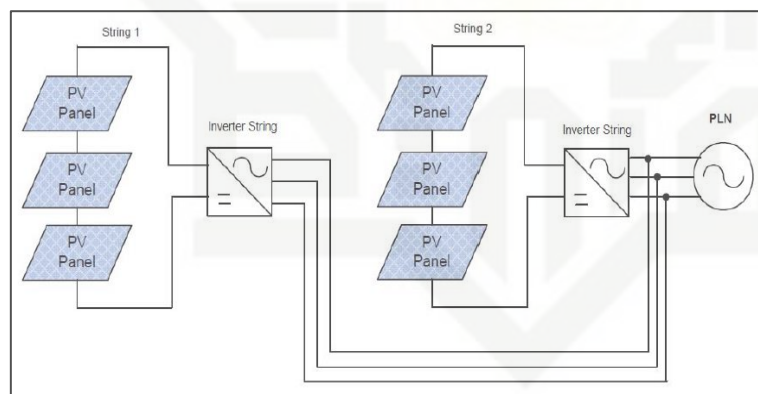
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.14 Konfigurasi *multi-string* inverter
(Sumber: PLN, 2014)

c. Konfigurasi Inverter *Multi String*

Inverter String Array mengilustrasikan yang mana rangkaian seri tunggal modul fotovoltaik dihubungkan secara seri dan string terhubung ke inverter tunggal dan ada satu inverter untuk setiap string. Keuntungan dari konfigurasi ini adalah bahwa string inverter memiliki kemampuan pelacakan titik daya maksimum *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) secara terpisah dari setiap string Fotovoltaik untuk mengurangi kerugian dari ketidakcocokan dan bayangan parsial sehingga dapat meningkatkan produksi energi. Kelemahan konfigurasi ini adalah diperlukan jumlah inverter yang lebih banyak.

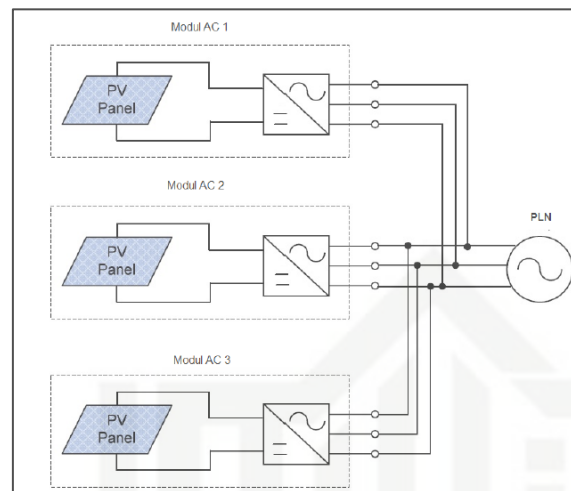


Gambar 2.15 Konfigurasi *Inverter-string* Inverter
(Sumber: PLN, 2014)

d. Konfigurasi Inverter Modul

Konfigurasi inverter modul dimana setiap modul fotovoltaik memiliki inverter DC/AC dan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Keuntungan dari konfigurasi ini adalah desain yang sangat fleksibel sehingga mudah untuk menambahkan inverter guna meningkatkan kapasitas pembangkit listrik. Selain itu konfigurasi ini meningkatkan produksi energi dengan cara mengurangi kerugian energi dari ketidaksesuaian inverter dan

meningkatkan keandalan. Kelemahan dalam konfigurasi ini adalah diperlukan biaya tambahan untuk inverter dan pemeliharaan yang relatif lebih kompleks.



Gambar 2.16 Konfigurasi *inverter* modul AC
(Sumber: Keputusan Direksi PT.PLN No 0357.K/DIR, 2014)

2.7 Keseimbangan Sistem (*Balance of System*)

Dalam sistem PLTS, terdapat komponen utama yaitu modul surya dan inverter. Selain dari pada itu, juga terdapat komponen penunjang. Komponen penunjang ini bertujuan untuk memberikan kinerja yang maksimal pada PLTS. Keseimbangan peralatan dan komponen pendukung yang lainnya haruslah terpasang dengan baik. Jika tidak, kinerja dan keandalan sistem akan bermasalah. Kunci keseimbangan sistem pada komponen termasuk:

2.7.1 Kabel

Dalam sistem *grid connected* membutuhkan kabel terhubung, yaitu:

2.7.1.1 Kabel DC

Kabel DC adalah kabel yang berada pada sistem DC pada PLTS. Kabel DC terdiri dari kabel *string*, kabel *array* dan kabel inverter DC.

2.7.1.2 Kabel AC

Kabel AC yang menyuplai inverter ke kWh meter menuju isolator AC inverter. Tegangan yang keluar dari inverter adalah 220V – 240V satu fasa. Sedangkan untuk sistem yang besar inverter yang digunakan adalah 380V AC tiga fasa.

2.7.1.3 Kabel Penumaian

Kabel yang digunakan untuk penumaian adalah sama halnya dengan kabel yang digunakan untuk penumaian instalasi bangunan.

2.7.1.4 Kotak Persimpangan Array

Array terdiri dari sejumlah *string* paralel, maka kabel pada *array* akan saling berhubungan di sebuah kotak persimpangan (*junction box*). Terkadang disebut dengan *DC combiner box*. Sebuah kotak persimpangan umumnya juga terdapat di rumah untuk instalasi skring pada PLTS.

2.7.2 Perangkat Pemutus

a. Isolator DC Pada PLTS

Isolator DC pada PLTS adalah sebuah alat yang sama jenisnya dengan *DC circuit breaker*. Alat ini digunakan sebagai saklar penghubung dan memutus. Namun, harus dipasang pada arus DC. Alat ini biasanya dipasang diantara PLTS dan inverter. Alat ini terbagi dua yaitu isolator yang memiliki polaritas dan isolator yang tidak memiliki polaritas.

b. Isolator AC pada PLTS

Peletakan isolasi saklar manual harus dipasang diantara inverter dan jaringan listrik. Ini di anjurkan untuk menempatkan bahwa sisi inverter yang terdapat perangkat metering PLTS.

2.7.3 Meteran

Meter listrik mencatat energi listrik dalam kWh yang dikonsumsi oleh beban di dalam suatu gedung. Meteran ini mencatat jumlah energi yang dikonsumsi dalam satuan kWh. Listrik yang digunakan oleh konsumen kemudian ditagih dan untuk penagihan listrik ini berdasarkan tarif yang ditetapkan.

Ada banyak jenis meter yang tersedia. Meteran sederhana adalah perangkat mekanis dengan disk yang berputar dikalibrasi yang berputar Ketika listrik sedang dikonsumsi. Jenis meteran digunakan ketika tarif listrik bervariasi pada waktu hari yang berbeda. Ada beberapa jenis meteran yang akan dipasang dengan sistem PLTS *grid-connected* tergantung pada persetujuan pembelian dengan distributor listrik yaitu :

a. Meteran Bruto

Meteran bruto adalah pengaturan meteran di mana pengukuran jumlah tenaga listrik yang diekspor dan yang diimpor dilakukan secara terpisah. Seluruh tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS secara efektif diekspor ke jaringan dan dapat diperlakukan secara terpisah dari tenaga listrik yang dikonsumsi oleh pengguna.

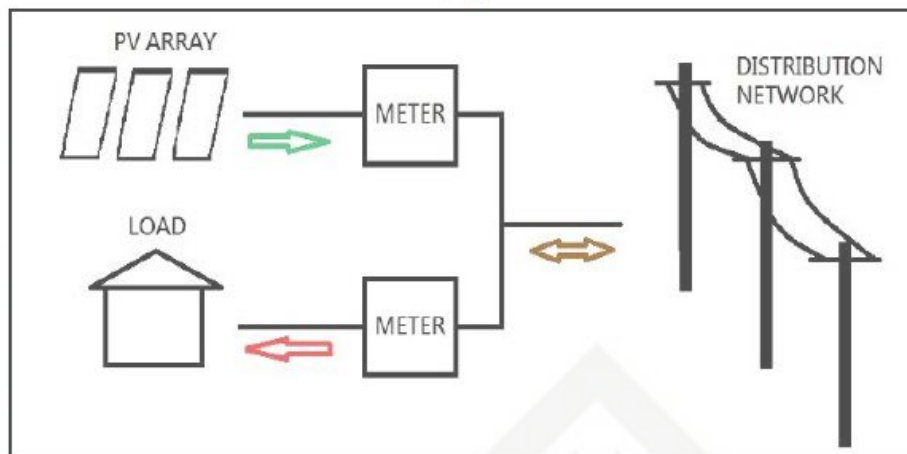
Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

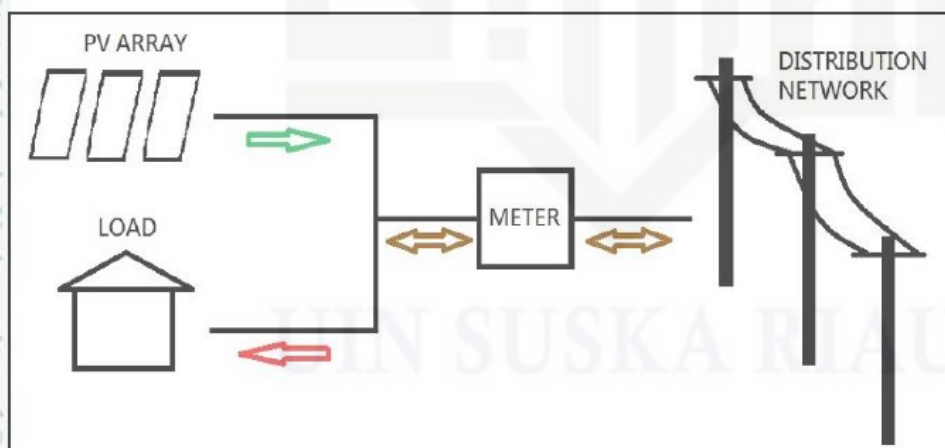
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.17 Konfigurasi Meteran Bruto.
(Sumber : ESDM, 2015)

b. Meteran Neto

Meteran neto adalah pengaturan meteran di mana tenaga listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS pertama-tama dikonsumsi dulu di tempat dan yang diekspor ke jaringan hanya kelebihan daya dari PLTS setelah dikonsumsi di tempat ini. Nilai meteran “Neto” adalah jumlah tenaga listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS dikurangi total konsumsi listrik. Apabila daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS melebihi konsumsinya, ada ekspor bersih/neto ke jaringan dan apabila konsumsi melebihi daya yang dihasilkan oleh pembangkit listrik PLTS ada impor bersih tenaga listrik.



Gambar 2.18 Konfigurasi meteran Neto
(Sumber : ESDM, 2015)

2.8 Rugi-Rugi Pada PLTS

Semua energi matahari yang terdapat pada PLTS tidak sepenuhnya dikirim ke jaringan (*grid*). Hal ini disebabkan oleh faktor pengurangan (*losses*) yang mempengaruhi konversi listrik yang dihasilkan oleh PLTS ke jaringan PLN (*grid*). Setiap faktor-faktor

tersebut dapat mengurangi efisiensi dari keseluruhan sistem PLTS (GSES, 2013). Faktor tersebut yaitu:

2.8.1 Temperatur Modul Surya

Pada saat terjadi temperatur yang tinggi, sel-sel surya kurang efisien. Energi keluaran dari modul dipengaruhi oleh temperatur pada sel-sel surya yang beroperasi. Saat panas sel-sel surya meningkat, tegangan yang melintasi setiap sel akan menurun sehingga daya pada sel juga akan menurun. Besarnya efek turunnya tegangan tersebut tergantung pada tipe dari sel surya, rata-rata koefisien suhu pada modul *cristaline* dapat mencapai 0.5 % V/° C sedangkan rata-rata pengurangan modul *thin film* mencapai 0.1-0.4% V/° C.

2.8.2 Kotoran (Soilage)

Kotoran dapat menumpuk di atas permukaan modul surya, tidak semua cahaya matahari sampai ke sel pada modul dan berakibat pada energi keluaran yang menurun. Seberapa banyak kotoran mempengaruhi energi keluaran akan bergantung pada sumber dan faktor-faktor yang mempengaruhi efek kotoran.

Kotoran (*soilage*) adalah bentuk lain dari *shading* terjadi ketika sebuah kotoran terendapkan pada modul. Kotoran tidak membuat sistem berhenti berfungsi sepenuhnya. Sistem masih bekerja namun dengan output keluaran PLTS sedikit berkurang. Biasanya curah hujan akan mencuci modul untuk mencegah akumulasi kotoran yang berada pada modul, namun di daerah-daerah yang sangat berdebu dan kering mungkin perlu untuk membersihkan modul menggunakan selang air.

Kotoran modul surya dapat mengurangi efisiensi keluaran PLTS. Kotoran yang terdapat pada modul tidak dapat diukur secara pasti namun, hal ini dapat diasumsikan jika lokasi sangat kotor atau berdebu dengan sedikit hujan, kerugian efisiensi 10%, yang berarti efisiensi yang dihasilkan dari 90% atau mungkin kurang dan jika ada hujan biasa maka faktor 0,95 atau di atas diharapkan (GSES, 2013).

2.8.3 Toleransi Pabrikasi (Manufacture Tolerance)

Modul diproduksi dengan rating daya yang ditentukan dan spesifikasi pabrikasi. Sebuah modul memiliki toleransi pabrikasi yang biasanya terdapat pada *data sheet* produk toleransi pabrikasi pada modul menunjukkan potensi 'negatif' kehilangan daya. Misalnya spesifikasi pabrikasi 160 W \pm 4% output solar modul / *array* harus didasarkan pada jumlah minimum daya dikutip untuk PV, yaitu contoh di atas: 160 Watt - 4%. dikutip 4% loss contoh yang sama efisiensi 96%. maka sebuah modul hanya bisa memproduksi 96% dari

kinerja maksimal modul tersebut. Simbol f_{mm} digunakan pada faktor toleransi pabrikan dan mewakili presentasi kehilangan.

2.8.4 Bayangan (*Shading*)

Bayangan pada *array* yang terjadi disiang hari akan mempengaruhi daya keluaran. Analisa rinci pada setiap terjadinya bayangan pada *array* diharapkan dapat dilakukan untuk menghindari terjadinya bayangan pada *array*. Efek bayangan dapat mengurangi radiasi matahari dan berakibat pada penurunan energi yang dihasilkan oleh sistem. Namun, ketika bayangan hanya terjadi di sebagian *array*, maka akan ada pengurangan tegangan maksimum. Sehingga, pengurangan pada energi maksimum akan terjadi pada *array*. Efek bayangan dapat menimbulkan permasalahan apabila :

1. Jika terjadi bayangan pada *array*, tegangan maksimum yang akan masuk ke inverter mungkin akan menurun dan juga akan sangat mengurangi *output* inverter.
2. Jika menggunakan *string* inverter dan terdapat beberapa *string* modul surya, *shading* pada satu *string* dapat mempengaruhi *output* *string* lainnya. Inverter dapat melacak tegangan yang rendah untuk mendapatkan arus yang lebih tinggi.

Dalam kedua situasi diatas, sulit untuk memprediksi *output* keluaran pada *array*, dan sebagian inverter memiliki respon yang berbeda. Cara lain untuk menghindari masalah tersebut adalah menemukan dan memasang *array* pada daerah yang sedikit bahkan tidak ada bayangan pada siang hari.

2.8.5 Efisiensi Inverter

Setiap inverter mempunyai efisiensi yang ditunjukkan pada spesifikasi dan *data sheet* produk. Efisiensi inverter tergantung pada input sebenarnya dari *array*. Untuk menghindari kurang efisiensinya maka kita harus memperhatikan input yang masuk dari *array*, karena jika input berlebih maka efisiensi berkurang. Selain itu, karena efisiensi inverter secara langsung berkaitan pada suhu operasi maka, saat pemasangan inverter penting dilakukan untuk tidak memasang inverter dibawah matahari langsung. Selain itu, pada saat pemasangan inverter haruslah memiliki ventilasi yang tepat agar inverter dapat beroperasi dengan efisiensi maksimum.

2.8.6 Pengurangan Sistem

Output daya dari PLTS akan berkurang perlahan dari waktu ke waktu, biasanya sebesar 0,5% per tahun. Ini berarti bahwa sistem akan kehilangan efisiensi 12% setelah 25 tahun beroperasi. Garansi pada *output* daya dari modul menjamin degradasi kurang dari 0,9% per tahun, sehingga menghasilkan efisiensi minimal 80% setelah 25 tahun.

Tabel 2.1 Pengurangan sistem dari waktu ke waktu.

Degradation	Year of Operation					
	0	5	10	15	20	25
0.5% pa	100%	98%	95%	93%	90%	88%
0.9% pa	100%	96%	91%	87%	83%	80%

(Sumber : NREL, 2012)

2.9 Perancangan Sistem PLTS *Grid-Connected*

Dalam perancangan ada beberapa kriteria penentuan desain pada penelitian PLTS sistem PLTS ada beberapa tahap yang digunakan:

2.9.1 Penilaian Lokasi PLTS

Karakterisasi situs dan penilaian sebuah situs secara rinci memberikan informasi yang diperlukan untuk desain sistem PLTS. Bagian pertama dari penilaian situs adalah untuk mengkarakterisasi kondisi fisik lokasi PLTS: Menentukan lintang, bujur, ketinggian, orientasi atap gedung, denah atap, menunjukkan atap yang digunakan untuk instalasi PLTS, menghitung total luas, kemiringan dan sistem pemasangan.

2.9.2 Penilaian Radiasi Matahari

Ada dua sumber utama data untuk radiasi matahari di permukaan bumi yaitu pengukuran secara langsung dan perhitungan berdasarkan data satelit. Radiasi matahari adalah jumlah keseluruhan dari energi matahari yang diterima pada lokasi tertentu, biasanya dalam satuan kWh/m²/hari. Data insolasi matahari lebih digunakan untuk merancang sistem PLTS. Perhitungan radiasi matahari berdasarkan perhitungan secara global atau langsung yang diambil selama siang hari. Perhitungan biasanya menggunakan *pyranometer* atau *pyrheliometer*. Dibeberapa lokasi, data ini dikumpulkan lebih dari 20 tahun.

Dalam perhitungan berdasarkan data satelit yang terdapat pada *meteorological database*, termasuk *database online* yang memilki informasi tentang radiasi matahari ini. Diantaranya adalah *Photovoltaic Geographical System (PVGIS)* dan *database* dari *Surface Meteorological and Solar Energy (SMSE)* dari NASA.

2.9.3 Analisa *Shading*

Sangat penting untuk memahami bayangan (*shading*) pada atap, terutama di daerah perkotaan di mana bangunan sekitarnya dan struktur dapat menghasilkan bayangan di atas atap. Bahkan sebagian kecil dari bayangan (*shading*) pada PLTS dapat secara signifikan mengurangi *output* energi yang dihasilkan. Idealnya, semua bagian atap harus tidak

terdapat bayangan selama minimal 6 jam sehari antara itu 09:00-03:00. Analisis *shading* harus dilakukan untuk semua jam sinar matahari sepanjang tahun. Hal ini membantu dalam pemilihan lokasi terbaik untuk memasang modul surya dan memberikan estimasi yang lebih akurat dari output tahunan dari sistem PLTS.

2.9.4 Pemilihan Modul

Ada tiga jenis utama dari modul surya PV yang tersedia di pasar komersial yaitu *monocrystalline*, *polycrystalline* dan *Thin film*. Pemilihan modul surya sangat penting dalam menentukan *design* sistem, pemilihan modul surya ditentukan berdasarkan efisiensi modul, area modul dan biaya.

2.9.5 Sistem Pemasangan (*Mounting System*)

Dua jenis utama dari sistem pemasangan PLTS yang digunakan yaitu sistem pemasangan di atap dan di tanah. Pada penelitian ini pemasangan yang digunakan di atap gedung (*rooftop*).

2.9.6 Pemilihan Inverter

Pemilihan inverter berkaitan dengan kapasitas modul yang terpasang. inverter mengubah listrik DC dari PV array surya untuk listrik AC dengan memaksimalkan output PLTS. Ada tiga jenis inverter surya umum digunakan: inverter *string*, inverter *central* dan inverter *mikro*.

2.9.7 Array Sizing

Ketika merancang sebuah sistem PLTS *grid-connected* jenis modul PV yang dipilih dan jenis inverter yang dipilih harus diperhitungkan. Untuk menghasilkan daya output yang optimal pada PV array harus disesuaikan dengan inverter. Langkah-langkah berikut ini digunakan untuk menentukan ukuran *array* (GSES, 2013).

1. Menyesuaikan *array* dengan spesifikasi tegangan inverter,
2. Menyesuaikan *array* dengan *current rating* inverter.
3. Menyesuaikan *array* dengan *power rating* inverter.

2.9.7.1 Menyesuaikan Array Dengan Spesifikasi Tegangan Inverter

a. Minimum Tegangan Inverter

Modul surya memiliki tegangan terendah di cuaca hangat. *array* harus dirancang sehingga tegangan V_{MP} *array* pada suhu operasi tertinggi tidak jatuh di bawah tegangan MPPT minimum pada inverter (GSES, 2013). Langkah pertama adalah untuk menemukan tegangan modul pada suhu modul maksimum dengan menggunakan persamaan (2.1) :

$$V_{MP} = V_{MP-SC} - [\gamma_V \times (T - T_{SC})] \quad (2.1)$$

Keterangan :

V_{MP-SC} = Tegangan MPP pada kondisi pengujian standar (SC),

γ_V = Koefisien suhu V_{MP} ,

T = Temperatur modul pada suhu udara ambien maksimum

T_{SC} = Temperatur di SC

b. Maksimum Tegangan Inverter

Jumlah maksimum modul dihitung dengan suhu terendah ketika tegangan V_{OC} modul berada pada titik tertinggi. Tegangan V_{OC} digunakan sebagai pengganti tegangan V_{MP} karena tegangan V_{OC} lebih tinggi dan sebagai tegangan maksimum yang disediakan untuk inverter ketika array terhubung. Tegangan V_{OC} modul adalah nilai pertama yang dihitung dengan persamaan (2.2) :

$$V_{OC\text{ CELL EFF}} = V_{OC-SC} - [\gamma_{VOC} \times (T - T_{SC})]. \quad (2.2)$$

Keterangan:

V_{OC-SC} = Tegangan rangkaian terbuka di SC

γ_{VOC} = Koefisien suhu untuk V_{OC}

T_{SC} = Temperatur Modul SC

T = Temperatur modul diharapkan terendah di suhu yang ditentukan.

Perhitungan untuk V_{OC} tidak diukur untuk modul PV selama musim dingin atau musim panas, nilai SC karena itu digunakan bersama dengan faktor keamanan 2% untuk menghitung tegangan yang lebih tinggi.

$$V_{\text{inverter}} = V_{\text{max input}} \times 0.98 \quad (2.3)$$

Jumlah maksimum modul dihitung persamaan (2.4) dengan membagi tegangan inverter dengan V_{OC} modul :

$$\text{Jumlah modul} = \frac{V_{\text{inverter}}}{V_{OC\text{ MOD}}}. \quad (2.4)$$

2.9.7.2 Menyesuaikan Array dengan Current Rating Inverter

Hal ini penting untuk memastikan bahwa arus maksimum yang dihasilkan oleh array lebih rendah dari arus maksimum input inverter. Jumlah string paralel array dari dihitung dengan menggunakan arus hubungan singkat (I_{SC}).

$$I_{SC\text{ MOD}} = I_{SC-SC} - [\gamma_{VOC} \times (T - T_{SC})] \quad (2.5)$$

Keterangan :

- I_{SC-STC} = Arus rangkaian terbuka di STC
 γ_{VOC} = Koefisien temperatur untuk V_{OC}
 T = Temperatur modul diharapkan terendah di suhu yang ditentukan.
 T_{STC} = Temperatur modul STC

Untuk mengitung jumlah maksimum string yang dapat beroperasi pada inverter dapat dihitung melalui persamaan.

$$\text{Jumlah String MPPT 1} = \frac{I_{\max \text{ DC input}}}{I_{SC \text{ Mod}}} \quad (2.6)$$

Keterangan :

- $I_{\max \text{ DC input}}$ = Arus maksimum inverter
 $I_{SC \text{ Mod}}$ = Arus modul pada suhu TSC

2.9.7.3 Menyesuaikan Array dengan Power Rating Inverter

Ketika mencocokkan *array* ke inverter, perhitungan untuk arus, tegangan dan daya perlu dilakukan untuk memastikan ukuran yang benar dari sistem PV. Perhitungan arus dan tegangan dilakukan untuk menghitung jumlah string dan jumlah modul dalam sebuah string. Perhitungan daya dilakukan untuk menemukan jumlah maksimum modul diperbolehkan dalam sistem (GSES, 2013). Dengan inverter dan modul yang dipilih, jumlah maksimum modul dalam *array* adalah:

$$\text{Ukuran Array} = \frac{\text{Maksimum Daya Inverter}}{\text{Daya Modul}} \quad (2.7)$$

2.9.8 Sistem Proteksi Sub-Array Dan Array

Menurut draft IEC 65248: *Design And Requirements for Photovoltaic (PV) Arrays, fuse (DC isolator)* pada PLTS dihitung pada rating :

$$1.5 \times I_{SC} \quad (2.8)$$

Perangkat proteksi *Sub- Array* ditentukan pada nilai :

$$1.25 \times I_{SC \text{ SUB ARRAY}} \quad (2.9)$$

Misalkan I_{sc} dari modul adalah 5.73 A maka *fuse* string yang harus diperoleh antara 8.59 A dan 13.75 A maka pada kondisi ini dipilih sekering (*fuse*) 10 A. Untuk *sub-array* dengan 10 string terhubung paralel sirkuit pemutus (*circuit breaker*) *sub-array* diperoleh antara 71.62 A dan 137.52 A oleh karena itu dapat dipilih *circuit breaker* 72 A.

Untuk *sub-array* dengan 9 string terhubung paralel, *circuit breaker* untuk perlindungan *sub-array* harus berada antara 64.46 A dan 123.76 A. Pada kondisi ini, dipilih *circuit breaker* 65 A. Dengan catatan juga bisa memilih untuk memiliki perangkat 72 A. PV Array DC isolator akan terletak pada kotak persimpangan *array* sebelum masuk ke inverter. maka arus minimal DC isolator ditentukan pada *rating* nilai :

$$1.25 \times I_{SC \text{ ARRAY}} \quad (2.10)$$

Ini akan memperoleh perolehan *circuit breaker* setidaknya 208 A. Tegangan semua perlindungan dan perangkat pemutusan, serta kabel, tegangan maksimum $V_{DC \text{ ARRAY}}$ ditentukan pada suhu minimum (GSES, 2013). Untuk menyesuaikan proteksi *circuit* antara inverter dan Busbar, Busbar dengan kWh meter menggunakan persamaan berikut:

$$I = \frac{\text{Inverter VA}}{230 \sqrt{3}} \quad (2.11)$$

Keterangan:

Inverter VA = Daya rating inverter

$$I = \frac{\text{Inverter VA} \times \text{Jumlah Inverter}}{230 \sqrt{3}} \quad (2.12)$$

2.9.9 Cable Sizing

Kabel adalah bagian penting dari desain sistem PLTS, baik untuk alasan keselamatan dan efisiensi. Ukuran kabel harus benar sesuai konduktor dan isolasi apabila kabel berukuran dibawah kemampuannya maka kabel dapat menyebabkan bahaya kebakaran. ukuran kabel yang benar adalah akan minimal *drop* tegangan dan ukuran kabel tidak lebih besar saat ini dalam kabel tidak akan lebih besar dari kemampuan kabel. Ada arus dan tegangan di berbagai bagian dari sistem PV yang berbeda. Oleh karena itu kabel sistem PV dibagi menjadi *string*, *array* dan kabel AC (GSES, 2013).

$$A = \frac{2 \times \rho \times l \times I}{V_d} \quad (2.13)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (mm^2)

ρ = Resistivitas kawat tembaga $0,0183 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$

l = Panjang kabel (meter)
 I = Arus melalui kabel (ampere)
 V_d = Tegangan jatuh (%)

2.10 Analisa Hasil Produksi Energi Sistem PLTS

Energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTS ditentukan oleh beberapa faktor utama yaitu ukuran PV array, radiasi matahari dan efisiensi sistem pada PLTS

2.10.1 Menentukan Output dari PLTS Ke Grid-Connected

Dalam merancang sistem PLTS penting untuk dapat memperkirakan hasil energi dari sistem itu. Energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS tergantung pada sejumlah faktor, yaitu Ukuran PLTS, Jumlah iradiasi yang diterima dan total efisiensi sistem. Output energi rata-rata dari array PV dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$E_{array} = P_{stc} \times 365 \times H_{tilt} \times N \times Losses \quad (2.14)$$

Keterangan:

P_{stc} = Output daya dinilai modul STC (W)
 H_{tilt} = Radiasi matahari (1 PSH = 1 kWh / m²)
 N = Jumlah modul dalam array
 $Losses$ = Total kerugian diterjemahkan kedalam efisiensi (%)

2.10.2 Rasio Kinerja

Rasio kinerja (PR) didefinisikan sebagai rasio dari jumlah sebenarnya energi PV dikirim ke jaringan utilitas dalam jangka waktu tertentu dengan jumlah teoritis energi yang dihasilkan oleh modul PV di bawah kondisi uji standar (STC).

$$\text{Rasio performa} = \frac{\text{Hasil produksi energi}}{\text{Produksi energi tanpa losses}} \quad (2.15)$$

2.10.3 Faktor Kapasitas (*Capacity Factor*)

Faktor kapasitas / *Capacity Faktor* Pembangkit listrik adalah rasio output aktual dari pembangkit listrik *Capacity factor* selama periode waktu dan output potensial jika telah beroperasi pada kapasitas penuh sepanjang waktu. Secara matematis, faktor kapasitas adalah jumlah total energi pabrik yang dihasilkan selama periode waktu dibagi dengan jumlah energi PLTS akan menghasilkan pada kapasitas penuh. Faktor kapasitas sangat bervariasi tergantung pada jenis bahan bakar yang digunakan dan desain pabrik. Hal ini juga menyediakan alat untuk perbandingan kinerja dari berbagai jenis pembangkit listrik.

$$\text{Faktor Kapasitas} = \frac{\text{Hasil Produksi Energi}}{\text{Kapasitas PV} \times 365 \times 24} \times 100\%. \quad (2.16)$$

2.11 Aspek Ekonomi

Energi yang dihasilkan oleh matahari merupakan energi yang gratis dan memang telah disediakan oleh alam. Namun, hal ini tidak berarti bahwa tidak ada dana yang digunakan untuk membayar produksi energi matahari. Harga sebuah sistem yang digunakan untuk memanfaatkan energi matahari menjadi sebuah energi listrik inilah yang membuat sistem PLTS mahal. Dimana didalamnya terdapat modul, inverter, pemasangan dan peralatan pendukung agar PLTS dapat beroperasi dengan sempurna.

2.11.1 Aspek Biaya

Aspek biaya dalam pembangunan meliputi biaya modal, perawatan dan penggantian dari berbagai komponen. Adapun aspek biaya dalam PLTS adalah:

2.11.1.1 Biaya Awal (*Capital Cost*)

Biaya investasi awal adalah biaya yang dikeluarkan untuk membangun sebuah sistem hingga siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan diawal-awal pembangunan dalam jumlah yang relatif besar dan berdampak jangka panjang. Salah satu contoh investasi awal adalah biaya keseluruhan bahan baku sistem, biaya pekerja, dan lain-lain (Giatman, 2005).

2.11.1.2 Biaya Operasional (*Operational Cost*)

Biaya operasional (*operational cost*) adalah biaya yang dikeluarkan setelah sistem sudah siap digunakan. Biaya ini biasanya dikeluarkan secara rutin atau periodik waktu tertentu dalam jumlah yang relatif sama (Giatman, 2005).

2.11.1.3 Biaya Perawatan (*Maintenance Cost*)

Biaya perawatan (*maintenance cost*) adalah biaya yang dikeluarkan dalam rangka menjaga/menjamin *performance* agar selalu prima dan siap untuk dioperasikan. Contohnya adalah biaya untuk mengganti salah satu alat pendukung sistem apabila terjadi kerusakan (Giatman, 2005).

2.11.1.4 Biaya Siklus Hidup (*Life Cycle Cost*)

Biaya siklus hidup suatu sistem adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, selama kehidupannya. Pada sistem PLTS, biaya siklus hidup (LCC) ditentukan oleh nilai sekarang atau *Present Value* (PV) dan biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal, lahan, penggantian komponen, operasional dan perneliharaan (Foster dkk., 2010). Biaya siklus hidup (LCC) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$LCC = C + M_{PW} + R_{PW} \quad (2.17)$$

Keterangan :

LCC = *Life Cycle Cost*

C = Penjumlahan dari biaya investasi awal

M_{pw} = Biaya nilai sekarang untuk total biaya pemeliharaan dan operasional selama n tahun atau selama umur proyek.

R_{pw} = Biaya nilai sekarang untuk biaya penggantian yang harus dikeluarkan selama umur proyek.

Nilai sekarang (PV) biaya O & M tahunan yang akan dikeluarkan beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) dengan jumlah pengeluaran yang tetap. Dihitung dengan rumus sebagai berikut (Halim, 2009):

$$M_{pw} = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2.18)$$

Keterangan :

A = Biaya O&M tahunan

i = Tingkat diskonto (%)

n = Umur proyek

Sedangkan untuk menghitung nilai sekarang (PV) dari biaya penggantian komponen untuk beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) digunakan rumus di bawah ini namun, sebelum itu nilai diskonto untuk beberapa waktu mendatang atau *Present Worth function* (PWF) harus diketahui.

$$PWF = \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$R_{pw} = B \times PWF \quad (2.19)$$

Keterangan :

B = Biaya penggantian komponen

2.11.2 Aspek Finansial

Dalam rangka untuk menilai apakah proyek dapat diterima atau tidak teknik analisa *financial* terlebih dahulu melakukan analisa terhadap *Net Present Value* (NPV), *Internal rate of return* (IRR) dan *simple payback* (SP).

2.11.2.1 Cash Flow (CF)

Pemilikan dan pengoperasian sebuah peralatan akan menimbulkan penerimaan-penerimaan *cash* (pendapatan-pendapatan) dan/atau pengeluaran-pengeluaran *cash*

(pengeluaran-pengeluaran). Pendapatan-pendapatan dan penerimaan-penerimaan *cash* disebut dengan *cash flow benefit* dan biaya-biaya atau pengeluaran *cash* disebut dengan *cash flow cost* (Giatman, 2005).

1. *Cash Flow benefit (CFB)*

CFC didapatkan dari pelayanan-pelayanan yang disumbangkan peralatan selama umur pelayanannya dan dari penjualannya pada akhir umur pelayanannya.

Menghitung nilai CFB dengan rumus berikut:

$$CFB = \sum_{t=0}^n Cost(1 + 0,08) \quad (2.20)$$

2. *Cash flow cost (CSC)*

CFC adalah biaya-biaya yang timbul, ada yang terjadi hanya sekali atau tidak berulang (*nonrecurring*) selama umur peralatan dan ada yang berulang selama umurnya untuk mengoperasikan dan memeliharanya. Menghitung nilai CFC dapat menggunakan rumus berikut:

$$CFB = \sum_{t=0}^n investasi - PWF \quad (2.21)$$

2.11.2.2 *Net Present Value (NPV)*

Net Present Value (NPV) menyatakan bahwa seluruh aliran kas bersih dinilai sekarang atas dasar faktor diskonto (*diccount factor*). Teknik ini menghitung selisih antara seluruh kas bersih nilai sekarang dengan investasi awal yang ditanamkan (Halim, 2009).

Keterangan pengambilan keputusannya adalah sebagai berikut:

- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah positif maka proyek tersebut layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu telah mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah negatif maka proyek tersebut tidak layak dilaksanakan karena hal itu mengindikasikan bahwa perhitungan investasi proyek itu belum mencapai kondisi yang mampu memberi keuntungan sampai periode yang diperhitungkan.
- Jika nilai NPV yang didapatkan adalah 0 maka itu berarti dalam sepanjang periode perhitungan investasi yang dilakukan maka proyek tersebut telah memberikan hasil yang sebanding dengan nilai investasi yang dikeluarkan.

2.11.2.3 Internal Rate Of Return (IRR)

IRR merupakan nilai discount rate yang membuat nilai NPV suatu proyek sama dengan nol. Rumus perhitungan IRR adalah sebagai berikut (Giatman,2005):

Berdasarkan perhitungan IRR, apabila nilai IRR lebih besar daripada tingkat bunga relevan (tingkat keuntungan yang disyaratkan), maka investasi dikatakan menguntungkan. Sebaliknya jika nilai IRR lebih kecil tingkat bunga relevan maka investasi dikatakan merugikan dan tidak layak untuk dilaksanakan.

2.11.2.4 Simple Payback

Simple payback adalah Pengembalian modal adalah analisis ekonomi pada sistem PV *grid-connected* metode paling mudah untuk dipahami. Dalam PLTS *simple payback* bertujuan menghitung jumlah waktu yang diperlukan untuk memulihkan biaya Investasi berdasarkan penghematan biaya energi tahunan.

2.11.2.5 Cost Of Energy (COE)

Perhitungan biaya energi listrik atau *Cost Of Energy* (COE) suatu PLTS ditentukan oleh biaya siklus hidup (LCC), faktor pemulihan modal atau *Capital Recovery Factor*(CRF) dan produksi energi tahunan PLTS. Faktor pemulihan modal adalah faktor yang dipergunakan untuk mengkonversikan semua arus kas biaya siklus hidup (LCC) menjadi serangkaian pembayaran atau biaya tahunan dengan jumlah yang sama (Santiari, 2011). Faktor pemulihan modal diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.22)$$

Keterangan :

CRF = Faktor diskonto

I = Tingkat diskonto (%)

N = Periode dalam tahun

Biaya produksi energi listrik pada PLTS dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$COE = \frac{LCC \times CRF}{\text{Produksi Energi}} \quad (2.23)$$

Keterangan :

COE = Biaya energi listrik (Rp/kWh)

CRF = Faktor Pemulihan modal

2.11.2.6 *Feed in Tariff* (FiT)

Feed in Tariff adalah harga jual listrik non PLN (rumah tangga atau swasta kepada PLN). Terdapat dua perbedaan pada FiT yaitu :

- Gross FiT* adalah seluruh listrik yang dihasilkan, terlepas apakah digunakan oleh pelanggan untuk keperluan beban atau daya akan diekspor ke PLN.
- Net FiT* adalah tarif yang digunakan hanya untuk ekspor listrik ke PLN.

Menghitung biaya listrik pertahun tergantung pada harga listrik yang diterapkan saat itu. Karena jika perkiraan harga listrik meningkat, sistem periode uang kembali juga semakin berkurang.

Harga jual listrik telah ditetapkan oleh PLN, tertuang pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2013 tentang Pembelian Tenaga Listrik oleh PT Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya Fotovoltaic pada Bab II pasal 3 yang berbunyi:

“Pembelian tenaga listrik dari PLTS Fotovoltaik sebagaimana dimaksudkan dalam pasal 2 untuk semua kapasitas terpasang ditetapkan dengan harga patokan tertinggi sebesar US\$ 25 sen/kWh (dua puluh lima sen dolar Amerika Serikat per kilo watt hour) = 3.271 rupiah”

Namun, tarif yang tersebut diatas adalah tarif untuk pemasangan PLTS *off-grid* atau skala besar. Penggunaan sistem solar panel yang tersambung dengan jaringan PLN menggunakan konsep Net Metering. Di Indonesia, penggunaan Net Metering terdapat dalam dalam peraturan 0733.K/DIR/2013 yang mewajibkan PLN untuk mengkreditkan energi yang dihasilkan oleh tenaga surya ke rekening pelanggan.

2.12 Analisa Emisi

Pada sebuah sistem pembangkit listrik, harus memperhitungkan dampak lingkungan dari sistem pembangkit tersebut agar tidak menimbulkan kecelakaan dalam pekerjaan dan pencemaran terhadap lingkungan di sekitar wilayah. Sistem pembangkit konvensional Generator Diesel yang menggunakan bahan bakar berupa solar dapat menimbulkan pencemaran udara berupa emisi CO₂, pada penelitian ini membahas analisa emisi, khususnya pengurangan jumlah emisi CO₂ dengan adanya sistem pembangkit dari energi terbarukan yaitunya energi surya.

Gas rumah kaca meliputi uap air, karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrous oxide (N₂O), ozon (O₃), dan beberapa kelas karbonat halo yaitu bahan kimia yang mengandung karbon bersama dengan fluorin, klorin dan bromin. dalam hal ini dilakukan

pendekatan simulasi menggunakan *software RETScreen* untuk menganalisa nilai emisi yang dapat dihindari. Model menghitung pengurangan emisi GRK tahunan saat kasus dasar dipindahkan dengan kasus yang diajukan. Hasil dari simulasi berupa tampilan grafik dan tabel pengguna menunjukkan apakah model tersebut menunjukkan nilai pengurangan emisi dengan kasus yang diusulkan. Pengguna juga dapat menunjukkan apakah kesetaraan emisi GHG ditampilkan atau tidak dan juga memungkinkan pengguna untuk membandingkan pengurangan emisi gas rumah kaca tahunan dengan nilai TonCO₂/tahun dengan nilai unit yang lebih mudah dikonseptualisasikan (misalnya bahan bakar minyak/ barel).

Pada analisa emisi ini nantinya akan didapatkan nilai pengurangan emisi gas rumah kaca tahunan dengan nilai TonCO₂/tahun, kemudian nilai emisi TonCO₂/tahun ini akan dikonversikan menjadi nilai bahan bakar energi fosil yaitu minyak mentah dengan satuan barel. Setelah mendapatkan nilai ini maka akan didapatkan rasio perbandingan antara pembangkit listrik energi terbarukan yang diusulkan dengan sistem pembangkit energi fosil yang ada pada lokasi penelitian.

Sebagai bagian dari perangkat lunak manajemen energi bersih *RETScreen*, lembar kerja analisis emisi disediakan untuk membantu pengguna memperkirakan potensi pengurangan emisi gas rumah kaca (mitigasi) dari fasilitas yang diusulkan.

2.13 *RETScreen*

RETScreen International Project Clean Energy Analysis Software adalah alat terkemuka khusus ditujukan untuk memfasilitasi pra-kelayakan dan analisa kelayakan teknologi energi bersih. Inti dari alat ini terdiri dari analisa proyek standar dan terintegrasi software yang dapat digunakan di seluruh dunia untuk mengevaluasi biaya produksi energi, siklus hidup dan pengurangan emisi gas rumah kaca untuk berbagai jenis energi yang diusulkan efisien dan teknologi energi terbarukan. Semua model teknologi energi bersih di *RETScreen* yang Software memiliki tampilan umum dan mengikuti pendekatan standar untuk memfasilitasi pengambilan keputusan Setiap model juga mencakup terintegrasi produk, biaya dan database cuaca dan user manual yang rinci secara online, semua yang membantu untuk secara dramatis mengurangi waktu dan biaya yang terkait dengan mempersiapkan studi pra-kelayakan. Software *RETScreen* mungkin yang tercepat dan termudah alat untuk estimasi kelangsungan hidup potensial proyek energi bersih

RETScreen menyediakan akses ke database iklim global berdasarkan pengukuran tanah dan data satelit NASA, analisa proyek di seluruh dunia yang memungkinkan. Perangkat lunak ini tersedia dalam 35 bahasa dan termasuk database peralatan untuk

komponen yang diproduksi dan tersedia di seluruh dunia. sumber pelatihan untuk belajar sendiri, digunakan dalam program pelatihan atau program universitas termasuk webcast, slide presentasi, dan catatan instruktur, studi kasus, pengguna dan bahan lainnya.

2.14 *SketchUp Pro*

SketchUp Pro adalah perangkat lunak yang berfungsi untuk membuat pemodelan gambar desain atau sketsa secara 2 dimensi maupun 3 dimensi. *SketchUp* adalah *software* yang cukup populer didunia karena keunggulannya dalam mengembangkan produk-produknya. *SketchUp Pro* diperkenalkan pertama kali oleh Mitchel Stangl pada tahun 2001 melalui *Stangl Associates* yang dibentuk tahun 1995. *SkecthUp Pro* terus berinovasi dengan mengembangkan versi-versi terbarunya dan fitur-fitur yang lebih menarik.

SketchUp Pro bisa digunakan oleh seorang insinyur sipil, arsitek, mesin, listrik dan lain-lain. Pada zaman yang modern seperti sekarang ini *SketchUp Pro* sangat diminati khususnya untuk menggambar baik itu menggambar 2 dimensi maupun 3 dimensi, karena dengan bantuan *software* ini kita dapat membuat gambar dalam waktu yang relatif singkat dan tentunya memiliki kualitas gambar yang memuaskan.

Stangl Associates menggunakan *SketchUp Pro* sepanjang keseluruhan alur kerja mereka. Melewatkan sketsa kertas dan langsung masuk ke pemodelan 3D. Diagram alur proses tradisional dan persyaratan spasial, pengaturan umum, dikembangkan bersamaan untuk semua proyek yang menggunakan *SketchUp*. Dengan cara itu kita bisa menentukan spesifikasi peralatan dan perkiraan proyek jauh lebih awal dalam proses perancangan dan dengan akurasi yang lebih besar.

Dari kedua perangkat lunak (*software*) yang dijelaskan diatas, masing masing perangkat lunak memiliki peranan yang berbeda dalam perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) di gedung Perpustakaan Soeman HS. *Software RETScreen* digunakan untuk menganalisa biaya, finansial, dan analisa emisi pada perancangan pemabangkit listrik tenaga surya (PLTS) dan juga menentukan kelayakan perancangan PLTS secara finansial. *Software SketchUp Pro* digunakan untuk membuat layout berupa gambar teknik atau *site plan* dari perancangan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) yang terintegrasi dengan bangunan Perpustakaan Wilayah Soeman HS.